

ЖИВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ.**ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ****1. ВВЕДЕНИЕ**

В предшествующей работе¹ подробно описано, на основании каких данных и каким образом проводилось исследование динамики солнечной активности, включая выделение ортогональных (то есть статистически независимых) факторов Е и Х. Показано², что фактор Е представляет собой флуктуации теплоэнергетической составляющей солнечной активности. Настоящая работа посвящена исследованию влияния фактора Х на живое вещество Земли, а также определению его природы и составляющих.

Интерес к научному изучению влияния солнечной активности на биосферу нашей планеты возник более ста лет тому назад, попытки связать наблюдаемые на Солнце явления с поведением животных предпринимались ещё в незапамятные времена. Однако в большинстве случаев наблюдаемые взаимосвязи толковались либо механистически, либо не вполне корректно (прежде всего, в силу ограниченности объёма накопленных знаний). А между тем, наблюдаемые в природе явления, будучи соотнесены с данными динамики солнечной активности, могут дать новые, нетривиальные представления о солнечно–земных связях.

Так, например, выполненный нами анализ данных Е.П.Чертковой³ (динамика численности насекомых и мышевидных грызунов) показал, что изменения численности, по всей видимости, связаны не напрямую с числами Вольфа, а с вычисленными факторами Е и Х (**Рис.1**).

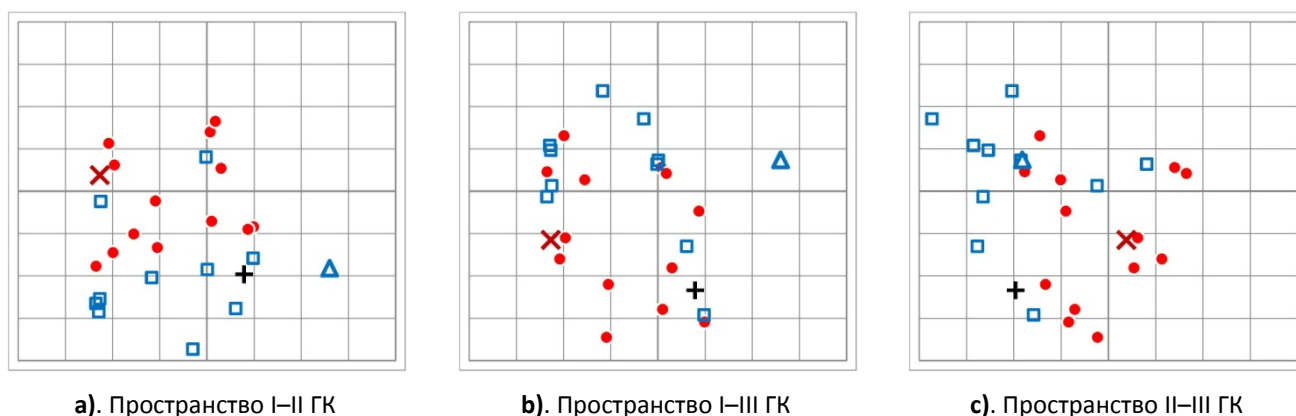


Рис.1. Приуроченность характера динамики численности млекопитающих к проявлениям факторов динамики солнечной активности в фазовом пространстве главных компонент (ГК)

¹ Речкин Д. «Невидимая динамика солнечной активности» – Archive.org (2020), ark:/13960/t86j43924.
URL: <https://archive.org/details/SunSpots-PCA>

² Речкин Д. «Живые детекторы солнечной активности. Насекомые – вредители сельского хозяйства» – Archive.org (2025), ark:/13960/s2wp0fvvdmv. URL: <https://archive.org/details/SunSpot-Pests-PCA>

³ Черткова Е.П. «Анализ многолетней динамики численности мелких млекопитающих в лесных экосистемах Алтайского государственного заповедника» // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета (электронный научный журнал), 2024, №1 (49), с. 191–210
DOI: [10.32516/2303-9922.2024.49.10](https://doi.org/10.32516/2303-9922.2024.49.10)
URL: http://vestospu.ru/archive/2024/articles/49/10_49_2024.pdf

На **Рис.1** красными точками обозначены виды мышевидных грызунов, синими квадратами – виды насекомоядных. Черный «плюс» соответствует центру тяжести влияния изменений среднегодовых **чисел Вольфа**, синий «треугольник» – центру тяжести влияния **фактора Е**, а красный «крестик» – центру тяжести влияния **фактора Х**. Наиболее отчётливо это видно на **Рис.1с**. В качестве исходных использовались данные Е.П.Чертовой (**01_Chertkova_2024.std**, подготовленные программой **01_input.jac**), а также ранее полученные из открытых источников⁴ значения среднегодовых чисел Вольфа и собственные расчётные значения факторов Е и Х (**Wolf-WEX.std**). Для предварительных расчётов использована программа **01_Corr_WEX_12Y.jac** для лага 11 лет; установлено, что наиболее существенными являются не более трёх лет предыстории текущего года. Дальнейшая обработка проведена по программе **01_Corr_WEX_4Y.jac**.

Все упоминаемые в настоящей работе данные, а также программы статистической обработки на языке ЯКОБИ⁵ для калькулятора многомерной статистики STATIC/EX^{6,7} приведены в прилагемом ZIP-архиве. Все рисунки выполнены стандартными средствами, с соблюдением всех формальных требований и ограничений (в частности, при неизменности данных).

Очевидно, что выявленные в данном примере связи динамики численности насекомоядных и мышевидных грызунов по меньшей мере имеют различный характер. Наиболее наглядно это представлено на **Рис.1с**, отчётливо видно, что виды насекомоядных и виды мышевидных грызунов тяготеют к различным факторам. Прирост численности насекомоядных отчасти можно объяснить большей доступностью пищи (нами показано, что прирост численности популяций зимующих насекомых зависит от флуктуаций потока поступающего от Солнца тепла, что выражается вычисленными значениями фактора Е). Однако в отношении мышевидных грызунов фактор Е отчего-то действует не так отчётливо, как в отношении насекомоядных. По всей видимости, влияние фактора Х на мышевидных грызунов имеет в своей основе иной механизм, отличный от простого теплоэнергопереноса.

С другой стороны, легко найти пример вида млекопитающих, не подверженного действию факторов солнечной активности, как первичных (среднегодовые числа Вольфа), так и производных (уже упоминавшиеся факторы Е и Х). Ещё в 1942 году была опубликована книга Чарльза Элтона «Полёвки, мыши и лемминги. Проблемы динамики популяций», в которой, среди прочего, приводятся данные о динамике промысловых заготовок пушных шкурок в провинции Лабрадор⁸, моравскими миссионерами (1834–1925) и Компанией Гудзонова залива (1926–1932), в пределах одних и тех же промысловых территорий. Данные (файл **42_Elton_1942_all.std**) подготовлены с помощью программы **42_input_all.jac**, расчёты выполнены по программе **42_Corr_WEX_all.jac**, выбранное значение лага составило 21 год (с учётом текущего года – примерно два 11-летних цикла).

⁴ Значения среднегодовых чисел Вольфа опубликованы на веб-сайте Мирового Центра Данных (SILSO data/image, Royal Observatory of Belgium, Brussels)
URL: <http://sidc.be/silso/datafiles>

⁵ Ефимов В.М., Речкин Д.В. «ЯКОБИ – входной язык пакетов прикладных программ статистической обработки биологических данных» – науч.-техн.бюл./ВАСХНИЛ, Сиб.отд-ние, вып.48, с.12–17. – Новосибирск: 1985

⁶ Полные исходные тексты на языке Паскаль (среда разработки Lazarus) доступны всем желающим без каких-либо ограничений; там же – скомпилированные исполняемые модули для платформы MS Windows (x86).
URL: <https://sourceforge.net/projects/jacobi-static>

⁷ Подробное описание доступно подписчикам группы. URL: <https://groups.io/g/Static>

⁸ Elton C.S. «Voles, Mice and Lemmings. Problems in Population Dynamics» – Oxford: Clarendon Press, 1942 – 1–496.

При сопоставлении динамики заготовок шкур с показателями солнечной активности за тот же период значимых корреляций вообще не было обнаружено (однако следует обратить внимание на данные по куницам⁹, а также на особенности региона Унгава). Сравнительная динамика указанных показателей показана на **Рис.2**.

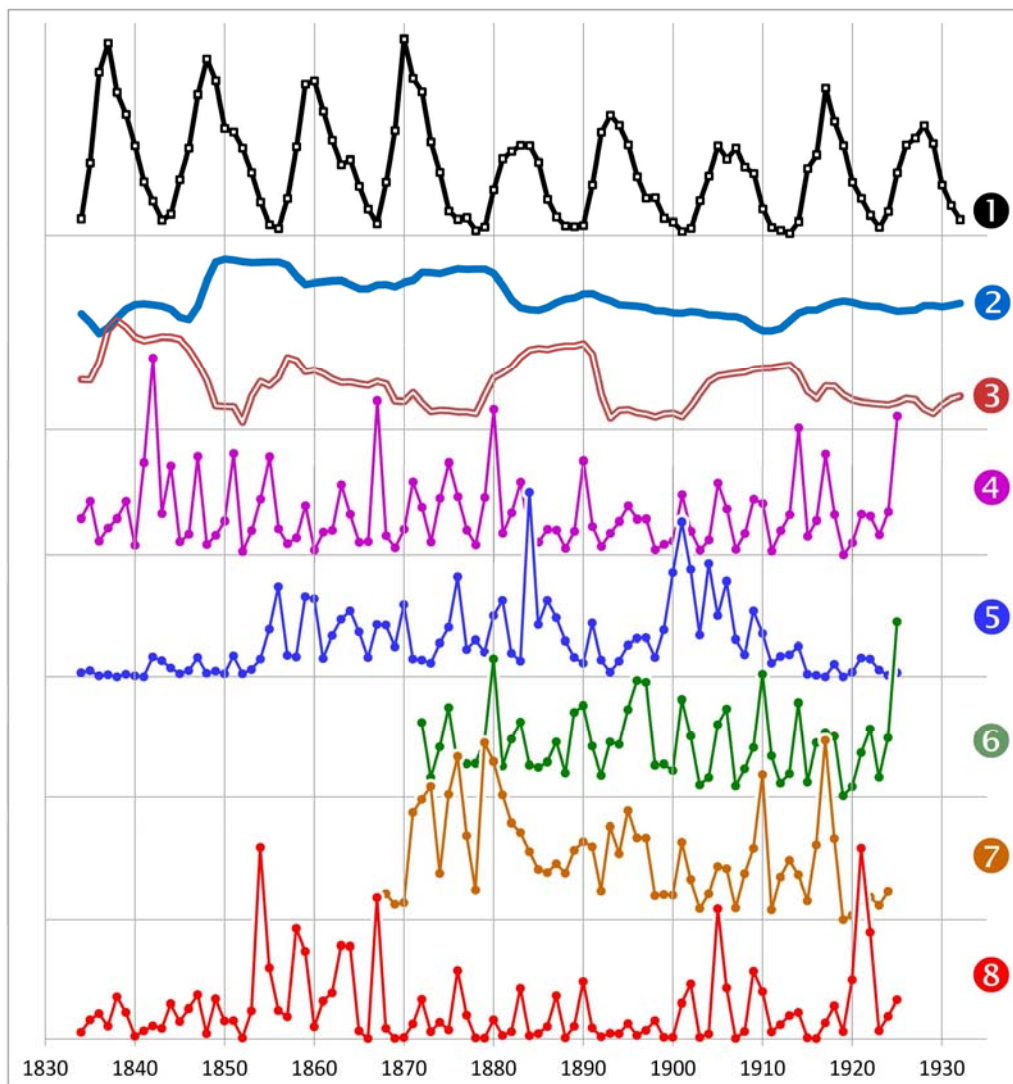


Рис.2. Сопоставление показателей солнечной активности и динамики промысловых заготовок шкур в провинции Лабрадор (1834–1932)

Цифрами на **Рис.2** обозначены:

- ① – среднегодовые числа Вольфа W;
- ② – изменения вычисленных значений фактора E;
- ③ – изменения вычисленных значений фактора X;
- ④ – заготовка лисьих шкур моравскими миссиями (Северный Лабрадор);
- ⑤ – заготовка куньих шкур моравскими миссиями (Северный Лабрадор);
- ⑥ – заготовка лисьих шкур (Дэвис–Инлет, Зоар, Хоупдейл);
- ⑦ – заготовка лисьих(?) шкур Компанией Гудзонова залива (Унгава);
- ⑧ – заготовка шкур песца¹⁰ моравскими миссиями (Унгава).

⁹ *Martes americana* (Turton, 1806)

¹⁰ *Vulpes lagopus* (Linnaeus, 1758); *Alopex lagopus* (Linnaeus, 1758)

Никакой связи между численностью популяции лис¹¹ (очевидно, косвенно выражающейся в количестве заготовленных в том или ином году шкурок) с одной стороны, и числами Вольфа *W*, факторами *E* и *X* с другой – просто не существует. Учитывая преимущественно одиночный образ жизни лис, их сравнительно невысокую плодовитость и отсутствие каких-либо склонностей к проживанию в условиях скученной популяции, отсутствие искомой корреляции не может показаться чем-то необычным. Несколько более заметна корреляция между численностью куницы и одним из показателей солнечной активности (фактором *X*). По всей видимости, склонные к образованию небольших стай куницы реагируют на изменения иначе, чем лисы и песцы. На **Рис.3** показано изменение названных корреляций в зависимости от лага лет (при условии отсека статистического «шума»¹² по первым главным компонентам, для которых собственные числа превышают 1,00; эти компоненты в сумме определяют более 97% общей дисперсии).

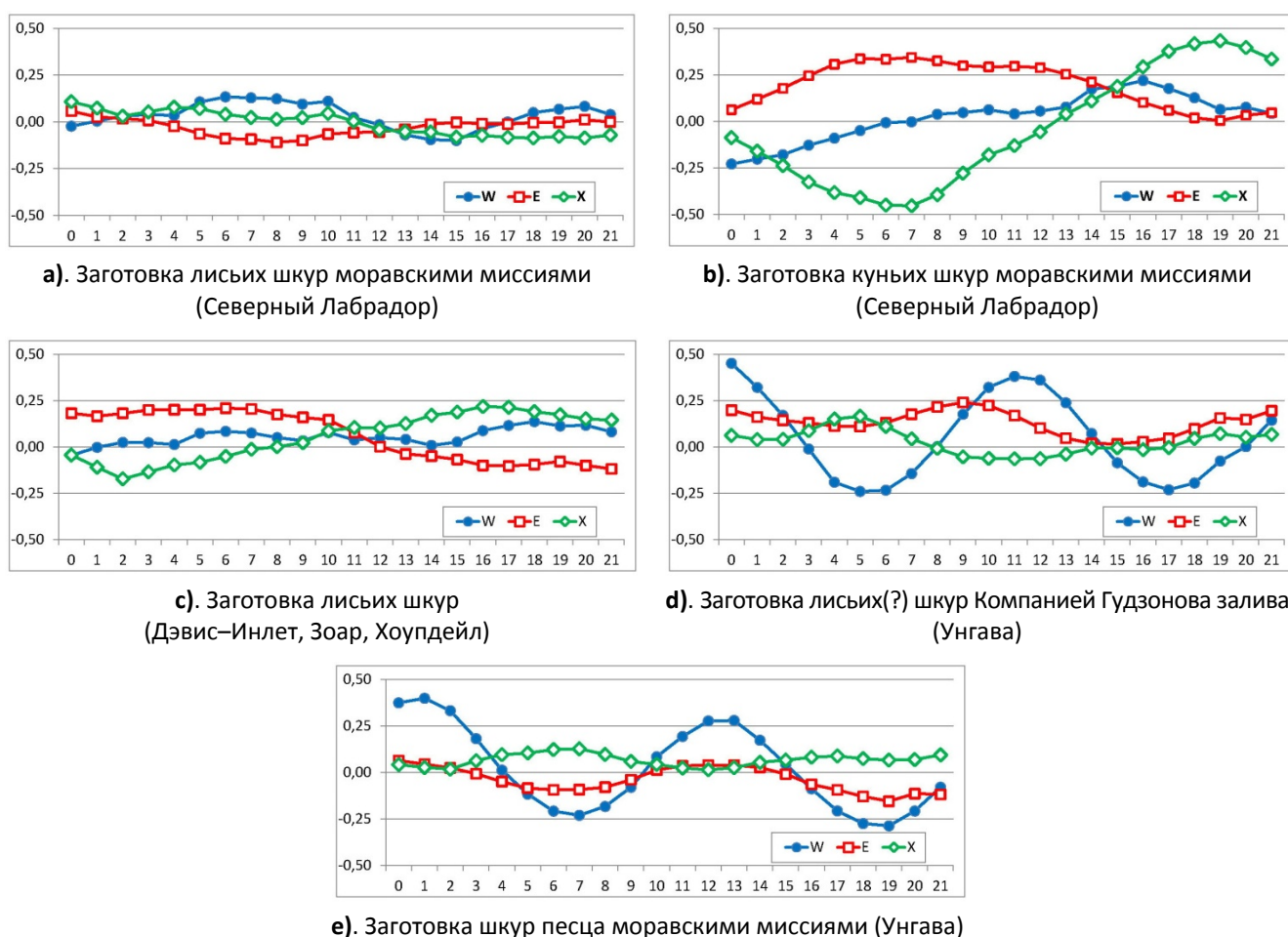


Рис.3. Зависимость корреляций между количеством заготовленных шкур пушных зверей и динамическими показателями солнечной активности (от лага лет) (обозначения: среднегодовые числа Вольфа *W*, фактор *E* и фактор *X*)

Зависимости корреляционных связей от лага лет, показанные на **Рис.3d** и **Рис.3e**, оказываются настолько похожими друг на друга, и настолько же отличающимися от других вариантов, что

¹¹ *Vulpes vulpes fulva* (Desmarest, 1820); *Vulpes vulpes pennsylvanicus* (Rhoads, 1894)

¹² О выделении статистического «сигнала» и отсека «шума» при анализе данных методом главных компонент см.: Ефимов В.М., Речкин Д.В., Гончаров Н.П. «Многомерный анализ многолетних климатических данных в связи с урожайностью, скороспелостью и проблемой глобального потепления» // Вавиловский журнал генетики и селекции, 2024. том 28, №2, с. 155–165

напрашивается простая мысль: в материал, собранный Чарльзом Элтоном (Табл.53, с.422) вкралась досадная ошибка. А именно – данные этой таблицы отражают заготовки не лисьих, а песцовых шкур. Песцы же особенным образом реагируют на изменение динамических показателей солнечной активности, отчего их численность больше всего коррелирует со среднегодовыми числами Вольфа.

Очевидно, что для изучения биологических проявлений действия факторов солнечной активности необходимо привлечь достаточно большой объём материала в части наблюдений динамики численности мелких млекопитающих. По всей видимости, не все виды подвержены такому влиянию настолько, что это удастся обнаружить на не очень длинных временных рядах наблюдений. Однако вполне возможно, что в результате исследования (с привлечением сведений из смежных областей знания) удастся сформулировать и предположения о физической сущности влияния фактора X на живые организмы.

2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В результате широкого поиска доступных материалов по динамике численности мелких млекопитающих удалось собрать данные по среднегодовым оценкам численности следующих видов (Табл.1) в различных локациях и биотопах. Искомые данные единообразно извлечены (обмером соответствующих рисунков, по причине отсутствия численных рядов; за исключением работы Е.П.Чертовой, в которой данные приводятся в числовой форме) из следующих публикаций:

- A. Чертова Е.П. «Анализ многолетней динамики численности мелких млекопитающих в лесных экосистемах Алтайского государственного заповедника» // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета (электронный научный журнал), 2024, №1 (49), с. 191–210
DOI: [10.32516/2303-9922.2024.49.10](https://doi.org/10.32516/2303-9922.2024.49.10)
URL: http://vestospu.ru/archive/2024/articles/49/10_49_2024.pdf
- B. Березовская Г.Б., Коробейникова А.С., Хайсарова А.Н. «Некоторые аспекты многолетней динамики численности фоновых видов грызунов и изменения солнечной активности на примере лесостепных биотопов Ульяновской области» – Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки, 2016, № 3 (15), с. 14–24
DOI: [10.21685/2307-9150-2016-3-2](https://doi.org/10.21685/2307-9150-2016-3-2)
- C. Драгомиров К. А. «Динамика численности обыкновенной полёвки (*Microtus arvalis* Pall.) в Краснодарском крае» – Вестник защиты растений, 2009, №2, с. 56–60
URL: <http://vizrsppb.ru/assets/docs/vestnik/2009-2.pdf>
- D. Добринский Н.Л. «Феномен многолетней синхронизации высокой численности грызунов в удалённых районах Урала» – Экология, 2017, №1, с. 70–74
DOI: [10.7868/S0367059717010061](https://doi.org/10.7868/S0367059717010061)
- E. Виноградов В.В. «Многолетняя динамика и структура сообщества землероек (*Soricidae*) горной тайги Восточного Саяна» – Сибирский экологический журнал, 2012, №1, с. 131–139
- F. Ивантер Э.В., Якимова А.Е. «Численность и экологическая структура населения мелких млекопитающих» – в кн.: «Мониторинг и сохранение биоразнообразия таёжных экосистем Европейского Севера России» / Под общей редакцией Данилова П.И. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2010, с. 170–195
- G. Ивантер Э.В. «Закономерности и факторы динамики численности рыжей полевки (*Myodes glareolus* schr.) на заповедных территориях восточной Финляндии» – Принципы экологии, 2023, №3, с. 15–35
DOI: [10.15393/j1.art.2023.13922](https://doi.org/10.15393/j1.art.2023.13922)
- H. Жигальский О.А. «Динамика численности и структуры населения рыжей полевки (*Myodes (Clethrionomys) glareolus*) при зимнем и весеннем начале размножения» – Зоологический журнал, 2012, том 91, №5, с. 619–628
- I. Ивантер Э.В., Курхинен Ю.П. «Изменения в населении мышевидных грызунов Восточной Финляндии под влиянием антропогенной трансформации таёжных экосистем» – Зоологический журнал, 2017, том 96, №4, с. 458–476

- Ж. Бобрецов А.В. «Динамика численности красной полевки (*Clethrionomys rutilus*, *Rodentia*) в Северном Предуралье за полувековой период» – Зоологический журнал, 2009, том 88, №9, с. 1115–1126
- К. Ермаков Л.Н., Переяславец В.М. «Цикличность многолетней динамики численности соболя (*Martes zibellina* (L.))» – Бюллетень Московского общества испытателей природы: Отделение биологии, 2020, том 125, вып.1, с. 3–14
- Л. Бобрецов А.В. «Популяционная экология мелких млекопитающих равнинных и горных ландшафтов Северо-Востока европейской части России» – М.: Т-во науч.изд. КМК, 2016, с.1–381

К великому сожалению, классическая работа¹³ В.М.Ефимова с соавторами, основанная на изучении рядов динамики водяной полёвки *A. terrestris* L., вовсе не содержит исходных численных данных.

Табл.1. Виды млекопитающих и границы временных рядов оценок численности

№	Вид	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Белозубка сибирская <i>Crocodyrus sibirica</i> Dukelsky	1976 2015											
2	Бурозубка бурая, или плоскочерепная <i>Sorex roboratus</i> Hollister	1976 2015				1981 2010							
3	Бурозубка крошечная <i>Sorex minutissimus</i> Zimm.	1976 2015				1981 2010							1988 2013
4	Бурозубка малая <i>Sorex minutus</i> L.	1976 2015				1981 2010	1966 2008						1988 2013
5	Бурозубка обыкновенная <i>Sorex araneus</i> L.	1976 2015				1981 2010	1966 2008						1988 2013
6	Бурозубка равнозубая <i>Sorex isodon</i> Turov	1976 2015				1981 2010							1988 2013
7	Бурозубка средняя <i>Sorex caecutiens</i> Laxmann	1976 2015				1981 2010	1966 2008						1988 2013
8	Бурозубка тундряная <i>Sorex tundrensis</i> Merriam	1976 2015				1981 2010							1988 2013
9	Крот сибирский <i>Talpa altaica</i> Nikolsky	1976 2015											
10	Кутора обыкновенная, или водяная <i>Neomys fodiens</i> Pennat	1976 2015				1981 2010							1988 2013
11	Лемминг лесной <i>Myopus schisticolor</i> Liljeborg	1976 2015											1988 2013
12	Мышовка лесная <i>Sicista betulina</i> Pall.	1976 2015											1988 2013
13	Мышь восточно-азиатская <i>Apodemus peninsulae</i> Thomas	1976 2015											
14	Мышь желтогорлая <i>Sylviaemus flavicollis</i> Melchior		1972 2015										
15	Мышь лесная <i>Apodemus uralensis</i> Pall.	1976 2015	1972 2015										

¹³ Ефимов В.М., Галактионов Ю.К., Шушпанова Н.Ф. «Анализ и прогноз временных рядов методом главных компонент» – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1988, с. 1-68

№	Вид	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
16	Мышь полевая <i>Apodemus agrarius</i> Pall.	1976 2015											
17	Полёвка большеухая, или сибирская горная <i>Alticola macrotis</i> Radde	1976 2015											
18	Полёвка водяная <i>Arvicola amphibius</i> (<i>A. terrestris</i>) L.	1976 2015											1989 2008
19	Полёвка красная <i>Clethrionomys rutilus</i> Pall.	1976 2015					1966 2008				1951 2003		1951 2013
20	Полёвка красно–серая <i>Clethrionomys rufocanus</i> Sundevall.	1976 2015											1988 2013
21	Полёвка обыкновенная <i>Microtus arvalis</i> Pall.	1976 2015		1954 2008									
22	Полёвка рыжая <i>Myodes (Clethrionomys)</i> <i>glareolus</i> Schreber	1976 2015	1972 2015		1976 2013		1966 2008	1966 2016	1973 2001				1988 2013
23	Полёвка тёмная <i>Microtus agrestis</i> L.	1976 2015					1966 2008			1962 2010			1988 2013
24	Полёвка эконолка <i>Microtus oeconomus</i> Pall.	1976 2015											1988 2013
25	Соболь <i>Martes zibellina</i> L.											1966 2017	

Для сопоставления временных рядов динамики численности мелких млекопитающих использованы уже упоминавшиеся ряды среднегодовых чисел Вольфа *W*, а также вычисленные значения факторов *E* и *X*.

Для оценок численности животных в разных работах использовались различные шкалы и единицы измерения (*особей на 100 ловушко–суток, особей на 10/100 конусо–суток, особей на 1000 га* и т.п.). Поэтому для приведения всех рядов данных к единому масштабу до начала содержательных расчетов каждый ряд подвергается нормированию, то есть делению ежегодных значений x_i на среднеквадратичное отклонение σ_x для данного временного ряда *X* (1).

$$x_i^* = x_i / \sigma_x \quad (1)$$

В ряде случаев в одной и той же публикации приводятся несколько временных рядов сходной природы (по численности одного и того же вида), но с различными временными границами; такие ряды могут совпадать по времени, частично перекрываться либо не перекрываться вовсе. С другой стороны, ценность данных временного ряда тем выше, чем шире его границы. При изучении локальных закономерностей, относящихся к специфике местообитаний животных, объединение временных рядов, вообще говоря, нецелесообразно. В данном же исследовании ведется поиск глобальных закономерностей, не приуроченных к конкретным биотомам. Поэтому несколько аналогичных временных рядов можно объединить, составив новый ряд, более широкий по охвату лет, включив в него средние значения по каждому году, вычисленные на основе значений всех относящихся к данному виду нормированных рядов. Отсутствие данных конкретного ряда по конкретному году не будет препятствием, если в другом ряду (рядах) эти данные представлены конкретными значениями. Данные по одним и тем же видам, получен-

ные разными исследователями, на этом этапе будут считаться различными. Например, при сведении данных трёх временных рядов по динамике численности соболя на трёх заповедных территориях получается вполне приемлемая картина (Рис.4), все исходные ряды нормированы в соответствии с формулой (1).

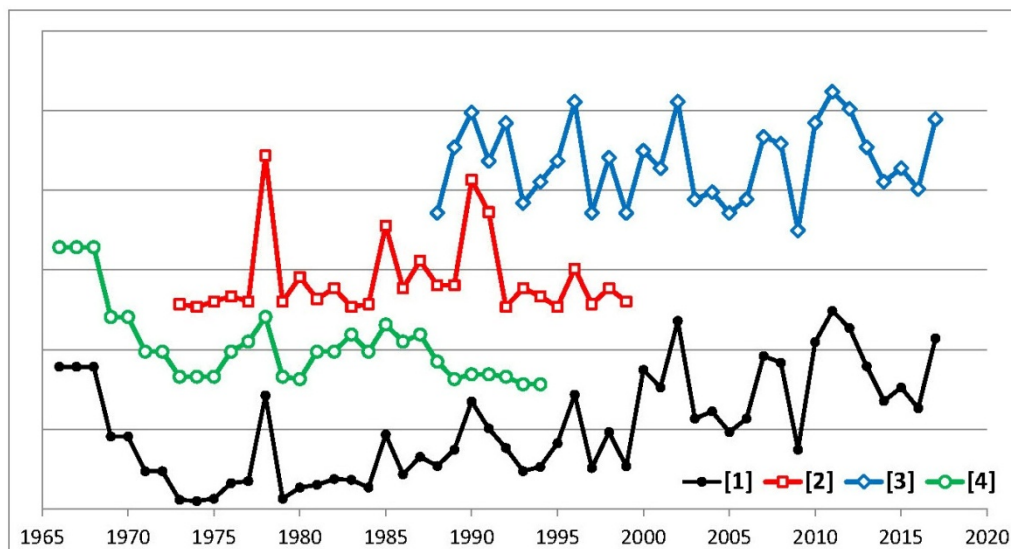


Рис.4. Сводный ряд динамики численности соболя [1], полученный на основе рядов динамики на территориях Печоро–Ильчского [2], Юганского [3] и Баргузинского [4] заповедников

Дальнейшим шагом генерализации данных может быть объединение рядов, представленных разными исследователями (поскольку нет оснований сомневаться в качестве данных, полученных в результате добросовестно выполненных наблюдений) по одному и тому же виду в различных локациях. Так можно восстановить ряды динамики численности в достаточно широком интервале времени (Рис.5).

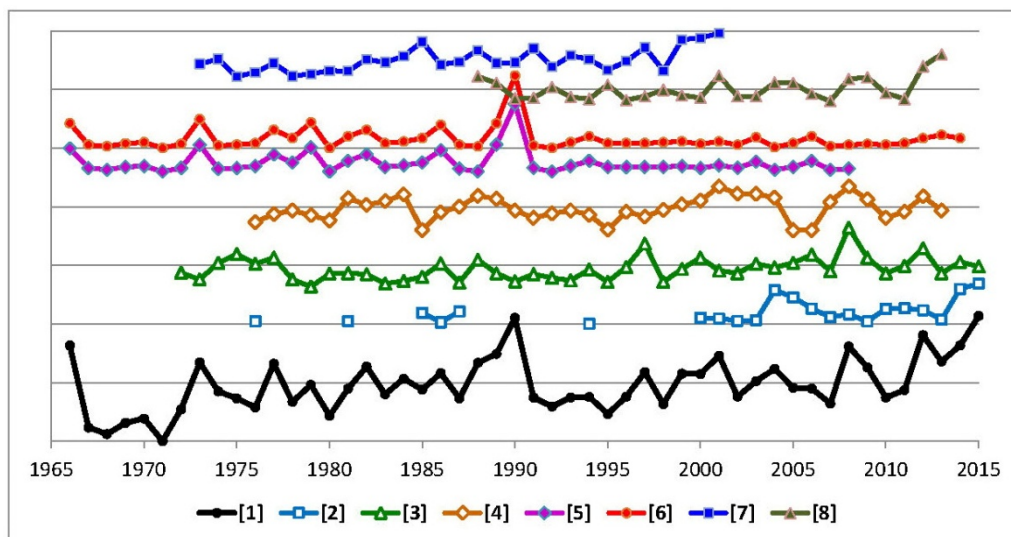


Рис.5. Ряды динамики численности рыжей полёвки *Myodes (Clethrionomys) glareolus* (по данным разных исследователей)

Цифрами на Рис.5 обозначены:

1. сводный ряд динамики численности (среднее по нормированным значениям);
2. данные Е.П.Чертковой (2024), см. «А»;
3. данные Г.Б.Березовской, А.С.Коробейниковой и А.Н.Хайсарова (2016), см. «В»
4. данные Н.Л.Добринского (2017), см. «D»

5. данные Э.В.Ивантера и А.Е.Якимовой (2010), см. «F»
6. данные Э.В.Ивантера (2023), см. «G»
7. данные О.А.Жигальского (2012), см. «H»
8. данные А.В.Бобрецова (2016), см. «L»

Формирование сводных рядов динамики численности мелких млекопитающих, основанное на получении средних по набору нормированных значений среднегодовой численности (либо её сезонных оценок) вполне оправдано, так как основано на явлении синхронности колебаний численности популяций^{14,15}, отмеченном, в частности, А.В.Бобрецовым¹⁶ по материалам предшествующих работ^{17,18,19}.

В обзорной статье Г.Д.Катаева²⁰ содержатся данные о динамике численности лесных полёвок (красно-серой *C. rufocanus*, рыжей *C. glareolus* и красной *C. rutilus*) в особях на 1000 ловушко-суток (период 1936–2016 гг.), а также норвежского лемминга *Lemmus lemmus* L. в баллах, 0÷5 (период 1929–2016 гг.). К сожалению, численные данные по землеройкам, леммингам и серым полёвкам представлены в таком виде, что выделение численности отдельных видов оказывается невозможным. Однако использование данных по перечисленным видам лесных полёвок и норвежскому леммингу вполне оправдано. Аналогично выглядит статья Э.В.Ивантера²¹ по поводу численности популяций носителей природно-очаговых заболеваний. В ней приводятся лишь суммарные данные по грызунам и землеройкам (за период 1958–2014 гг.), без разбивки по отдельным видам животных. Тем не менее, и подобные суммарные данные можно использовать для общей оценки правомочности выдвигаемой гипотезы.

Таким образом, для изучения сравнительной динамики солнечной активности и колебаний численности популяций мелких млекопитающих можно сформировать до 62 (66, с учётом данных Катаева и Ивантера) временных рядов, соответствующих 25 (28) видам млекопитающих. Совокупная выборка охватывает период с 1951 (1929, с учётом данных Катаева) по 2017 гг. Разумеется, она не может описать всё многообразие животного мира, однако представленные данные достаточны для получения статистически значимых результатов.

¹⁴ Korpimäki E., Brown P.R., Jacob J., Pech R.P. «The puzzles of population cycles and outbreaks of small mammals solved?» – BioScience, 2004, Vol.54, No.12, 1071–1079

¹⁵ Krebs C.J., Kenney A.J., Gilbert S., Danell K., Angerbjörn A., Erlinge S., Bromley R.G., Shank C., Carrière S. «Synchrony in lemming and vole populations in the Canadian Arctic» – Can. J. Zool., 2002, Vol.80, No.8, 1323–1333

¹⁶ Бобрецов А.В. «Популяционная экология мелких млекопитающих равнинных и горных ландшафтов Северо-Востока европейской части России» – М.: Т-во науч.изд. КМК, 2016, с. 250–261

¹⁷ Губарь Ю.П. «Численность лесных полевок и некоторые стороны их взаимоотношений» // в кн.: Фауна и экология животных – М., 1976, ч.2, с.60–103

¹⁸ Бобрецов А.В., Куприянова И.Ф. «Динамика популяций лесных полевок (*Clethrionomys*, Rodentia) на Европейском Севере» – Экология, 2002, № 3. с.220–227

¹⁹ Окулова Н.М., Катаев Г.Д. «Многолетняя динамика численности красно-серой полевки (*Clethrionomys rufocanus*, Microtinae, Rodentia) в разных частях ареала» – Зоол. журн., 2003, т.82, вып.9, с.1095–1111

²⁰ Катаев Г.Д. «Долговременный (1936–2016 гг.) мониторинг видового состава и численности населения мелких млекопитающих северо-таежной Лапландии» – Бюллетень Московского общества испытателей природы: Отделение биологии, 2016, том 121, вып. 6, с. 3–17

²¹ Ивантер Э.В. «Численность и состояние популяций мелких млекопитающих – носителей природноочаговых болезней человека в Карельском северо-восточном Приладожье» – Успехи современной биологии, 2023, том 143, №3, с. 250–260

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде всего, необходимо определить уровень «сигнала» в изучаемой выборке. Как уже было сказано, за «сигнал» при обработке данных методом главных компонент мы принимаем первые (старшие) компоненты, для которых значение собственного числа превышает единицу (матрица данных должна быть предварительно центрирована и нормирована по столбцам). При лаге 11 лет, соответствующем средней продолжительности неполяризованного цикла солнечной активности, распределение величин собственных чисел (дисперсий компонент) выглядит так (**Рис.6**), компоненты XXXI–LXI не показаны ввиду малых значений собственных чисел:

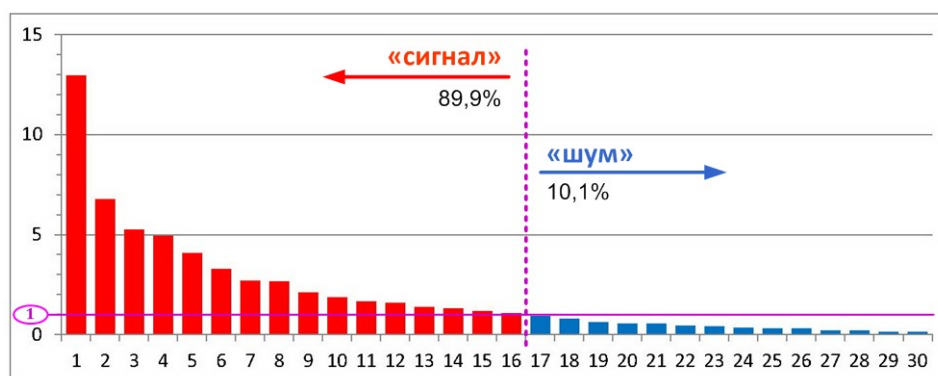


Рис.6. Соотношение сигнал/шум для главных компонент сводной матрицы динамики численности млекопитающих (расчёт с лагом 11 лет)

На графике выделены статистически значимые компоненты (I–XVI), в сумме определяющие до 89,9% общей дисперсии. Однако не все из них относятся к изучаемым зависимостям, поэтому необходимо сравнить величины коэффициентов корреляции между показателями солнечной активности и оценками численности животных (по годам) с учётом лага. Расчет коэффициентов корреляции выполнялся с использованием только что полученных собственных векторов и собственных чисел (2), причём для «шумовых» компонент собственные числа заменялись нулевыми значениями.

$$R = S \cdot \Lambda \cdot S^T \quad (2)$$

Здесь: R – матрица парных корреляций, Λ – вектор собственных чисел, S – матрица собственных векторов, S^T – она же, транспонированная.

Несмотря на то, что полученные числовые значения коэффициентов корреляции ежегодных оценок динамики численности млекопитающих с показателями динамики солнечной активности (числами Вольфа W , вычисленными значениями факторов E и X) более точно отображают зависимость от значения лага, для наглядности предпочтительнее использовать коррелограммы²², представляющие результат в более компактной и значительно более наглядной форме. Мы не приводим здесь коррелограммы по всем 28 рядам, ограничиваясь лишь некоторыми наиболее показательными примерами (**Рис.7**).

На основании анализа всего массива коэффициентов корреляции установлено, что наиболее весомыми из них (по модулю, то есть без учёта знака) являются те, что соответствуют лагу от 0 до 3 лет; именно этими значениями мы и ограничим дальнейшие расчёты.

²² Friendly M. «Corrgrams: Exploratory displays for correlation matrices» – The American Statistician, 2002, 56 (4), 316–324. DOI: [10.1198/000313002533](https://doi.org/10.1198/000313002533)

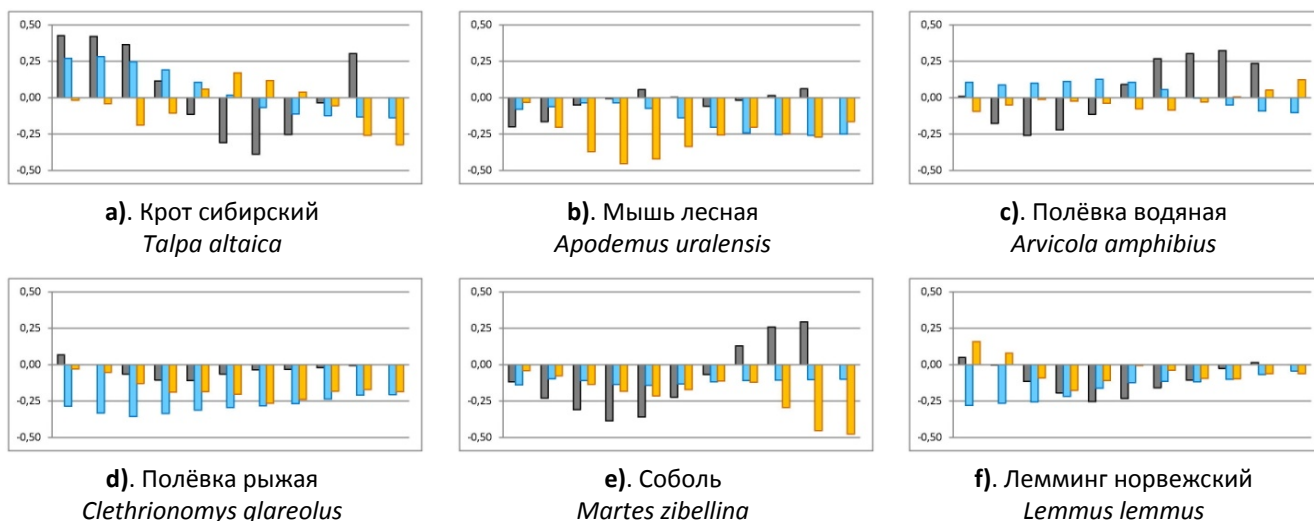


Рис.7. Примеры коррелограмм для различных видов млекопитающих (связь с показателями W, E, X в зависимости от лага лет, от 0 до 10)

С использованием сформированной матрицы данных **Mammals.std** программой **corr_4year.jac** вычислены собственные числа (дисперсии компонент) и собственные векторы для матрицы парных корреляций. Мы не проводили исключение строк с отсутствием данных по отдельным признакам, поскольку при расчёте промежуточной матрицы парных корреляций их наличие сказывается только на числе степеней свободы для каждого конкретного коэффициента; сами же коэффициенты корреляции вычисляются стандартным образом, в тех и только тех случаях, когда исходные значения (x_i, y_i) представлены числами (3):

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{Cov(x, y)}{\sqrt{\sigma_x^2 \sigma_y^2}} \quad (3)$$

где $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ – среднее (матожидание) по соответствующим столбцам.

Полученные собственные числа (**Табл.2**) и собственные векторы (**Табл.3**) для I–V главных компонент приведены ниже.

Табл.2. Собственные числа (дисперсии компонент) при лаге 4 года

	Наименование	I	II	III	IV	V
λ	Собственное число главной компоненты	6,58	4,93	3,44	2,60	2,37
%	Доля дисперсии главной компоненты (в процентах)	17,3	12,9	9,0	6,8	6,2
$\Sigma\%$	Накопленная доля дисперсии (в процентах)	17,3	30,2	39,3	46,1	52,3

Табл.3. Собственные векторы при лаге 4 года

	Наименование признака	I	II	III	IV	V
W_0	Число Вольфа, среднее за текущий год	0,006	0,093	–0,305	–0,237	–0,066
W_{-1}	Число Вольфа, среднее за предшествующий год	0,042	0,079	–0,398	–0,312	0,046
W_{-2}	Число Вольфа, среднее (год –2)	0,084	0,040	–0,396	–0,237	0,151
W_{-3}	Число Вольфа, среднее (год –3)	0,106	–0,005	–0,294	–0,040	0,208

	Наименование признака	I	II	III	IV	V
E ₀	Значение фактора E, за текущий год	0,301	0,158	−0,099	0,193	−0,144
E _{−1}	Значение фактора E, за предшествующий год	0,303	0,169	−0,070	0,190	−0,183
E _{−2}	Значение фактора E (год −2)	0,284	0,190	−0,041	0,188	−0,222
E _{−3}	Значение фактора E (год −3)	0,253	0,213	−0,014	0,186	−0,235
X ₀	Значение фактора X, за текущий год	−0,083	0,327	0,111	0,036	0,028
X _{−1}	Значение фактора X, за предшествующий год	−0,076	0,388	0,103	0,038	0,099
X ^{−2}	Значение фактора X (год −2)	−0,065	0,406	0,068	0,049	0,176
X _{−3}	Значение фактора X (год −3)	0,005	0,347	0,049	0,012	0,203
1	Белозубка сибирская <i>Crocidura sibirica</i>	−0,280	0,175	−0,222	0,116	−0,044
2	Бурозубка бурая, или плоскочерепная <i>Sorex roboratus</i>	−0,066	−0,028	−0,331	0,280	0,037
3	Бурозубка крошечная <i>Sorex minutissimus</i>	−0,066	−0,095	−0,109	0,091	0,108
4	Бурозубка малая <i>Sorex minutus</i>	−0,214	−0,155	−0,069	0,106	−0,037
5	Бурозубка обыкновенная <i>Sorex araneus</i>	−0,243	0,033	−0,161	0,177	0,056
6	Бурозубка равнозубая <i>Sorex isodon</i>	−0,227	0,101	−0,089	0,093	−0,044
7	Бурозубка средняя <i>Sorex caecutiens</i>	−0,248	−0,028	−0,067	0,059	0,041
8	Бурозубка тундряная <i>Sorex tundrensis</i>	0,007	−0,076	−0,274	0,382	0,091
9	Крот сибирский <i>Talpa altaica</i>	0,096	0,029	−0,188	−0,176	−0,264
10	Кутора обыкновенная, или водяная <i>Neomys fodiens</i>	−0,010	−0,053	−0,112	0,326	0,036
11	Лемминг лесной <i>Myopus schisticolor</i>	0,038	−0,075	0,049	0,034	0,048
12	Мышовка лесная <i>Sicista betulina</i>	−0,172	0,125	−0,054	−0,011	−0,152
13	Мышь восточноазиатская <i>Apodemus peninsulae</i>	−0,217	0,145	−0,098	−0,022	−0,181
14	Мышь желтогорлая <i>Sylvaemus flavicollis</i>	−0,194	0,099	0,242	0,049	−0,070
15	Мышь лесная <i>Apodemus uralensis</i>	−0,087	−0,099	−0,044	0,103	−0,364
16	Мышь полевая <i>Apodemus agrarius</i>	−0,311	0,238	−0,025	−0,141	−0,168
17	Полёвка большеухая <i>Alticola macrotis</i>	0,023	−0,070	0,137	0,063	0,249
18	Полёвка водяная <i>Arvicola amphibius</i> (<i>A. terrestris</i>)	−0,009	0,029	−0,034	0,091	−0,103
19	Полёвка красная <i>Clethrionomys rutilus</i>	−0,054	−0,062	−0,098	0,089	−0,036
20	Полёвка красно–серая <i>Clethrionomys rufocanus</i>	−0,096	0,054	0,000	0,159	0,146
21	Полёвка обыкновенная <i>Microtus arvalis</i>	−0,124	0,025	−0,024	−0,179	−0,293
22	Полёвка рыжая <i>Myodes</i> (<i>Clethrionomys</i>) <i>glareolus</i>	−0,153	−0,100	−0,065	0,003	0,003
23	Полёвка тёмная <i>Microtus agrestis</i>	−0,053	0,075	−0,002	0,204	0,134
24	Полёвка эконома <i>Microtus oeconomus</i>	0,081	0,038	−0,022	0,040	−0,030
25	Соболь <i>Martes zibellina</i>	−0,122	−0,049	0,096	0,009	−0,363
26	Лемминг норвежский <i>Lemmus lemmus</i>	−0,127	−0,008	−0,006	−0,013	0,075
31	Грызуны <i>Rodentia</i>	−0,091	−0,262	0,006	0,194	−0,150
32	Землеройки <i>Soricidae</i>	−0,033	0,015	−0,038	0,100	0,007
%	Информативность по учтённым вкладам признаков	90,4	90,4	90,1	90,6	91,1

Оценка информативности выполнена следующим образом: все значения вкладов признаков в соответствующий собственный вектор ранжировались в порядке убывания абсолютной величины, далее производилось суммирование квадратов вкладов; если накопленное значение оказывалось меньше, чем заданный порог (в данном случае 90%), выбирался следующий признак. При превышении заданного порога процедура завершалась.

По совокупности значимых (информативных) вкладов признаков в соответствующие главные компоненты можно судить о природе представленных ими факторов влияния на изменчивость изучаемых объектов. Учитывая то, что все собственные векторы являются ортами соответствующего фазового пространства (то есть все они взаимно ортогональны), такие факторы влияния являются, вообще говоря, независимыми. В предшествующей статье нами было показано, что действующий фактор *E* (*Energy*) соответствует флуктуациям теплоэнергетического потока, направляющегося от Солнца к Земле. Исходя из этого, компоненты I и IV, скорее всего, выражают разнообразие реакции популяций изучаемых видов на разную степень суровости климата (прежде всего, в зимний период). Наличие не одной, а двух главных компонент, обусловленных подобными связями, объясняется различием реакции отдельных видов на климатические изменения, что может выражаться как в колебаниях смертности в зимний период, так и в изменениях численности потомства, чье выживание зависит от обилия доступной пищи (в первую очередь, насекомых). Влияние фактора *X* является превалирующим для II главной компоненты, где вклады признаков $X_0 - X_3$ существенно превышают вклады $E_0 - E_3$. Для более точного определения природы фактора *X* необходимо детально изучить особенности биологии видов, чьи вклады во II главную компоненту также оказываются информативными. Попутно заметим, что влияние недифференцированной солнечной активности (среднегодовые числа Вольфа) оказывается достаточно слабым, и отражается лишь во вкладах в III и IV главные компоненты (не более 15,8% общей дисперсии, см. **Табл.2**).

Таким образом, на данном этапе уже установлено наличие существенных различий в реакции отдельных видов на динамическое изменение солнечной активности. Для более детального изучения подобных явлений необходимо провести дополнительную классификацию видов, разделив их на когорты по типу реакции на факторы солнечной активности. Наиболее наглядной такая классификация станет при использовании специальной метрики – корреляционного расстояния.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Корреляционное расстояние $D_{X,Y}$ – это обобщённая мера сходства между двумя наборами данных *X* и *Y*, для которых всегда выполняется требование наличия парных (групповых) соответствий между различными значениями x_i и y_i для одного и того же индекса *i*. Наборы данных *X* и *Y* представляют собой пару или более столбцов/строк симметричной относительно главной диагонали матрицы корреляций *R*.

ВЫЧИСЛЕНИЕ

1) Прямое корреляционное расстояние

$$D_{X,Y} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n r_{x_i,y_i}^2}{n}} \quad (4)$$

2) Обратное корреляционное расстояние

$$\hat{D}_{X,Y} = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (1 - |r_{x_i,y_i}|)^2}{n}} \quad (5)$$

СВОЙСТВА

- а) Неотрицательность: $D_{X,Y} \geq 0$
- б) Нормированность: $D_{X,Y} \in (0,1)$
- в) Симметричность: $D_{X,Y} \equiv D_{Y,X}$
- г) Линейность: $D_{X,Z} = D_{X,Y} + D_{Y,Z}$

Для классификации видов по когортам построим проекции признаков–видов в координатах прямого корреляционного расстояния между наблюдаемыми показателями солнечной активности (среднегодовыми числами Вольфа) $W = \{W_0; W_{-1}; W_{-2}; W_{-3}\}$, вычисленными значениями фактора $E = \{E_0; E_{-1}; E_{-2}; E_{-3}\}$ и фактора $X = \{X_0; X_{-1}; X_{-2}; X_{-3}\}$.

Наиболее показательным оказывается «фазовый портрет» в координатах корреляционных расстояний видов в пространстве $\{E, X\}$ (Рис.8).

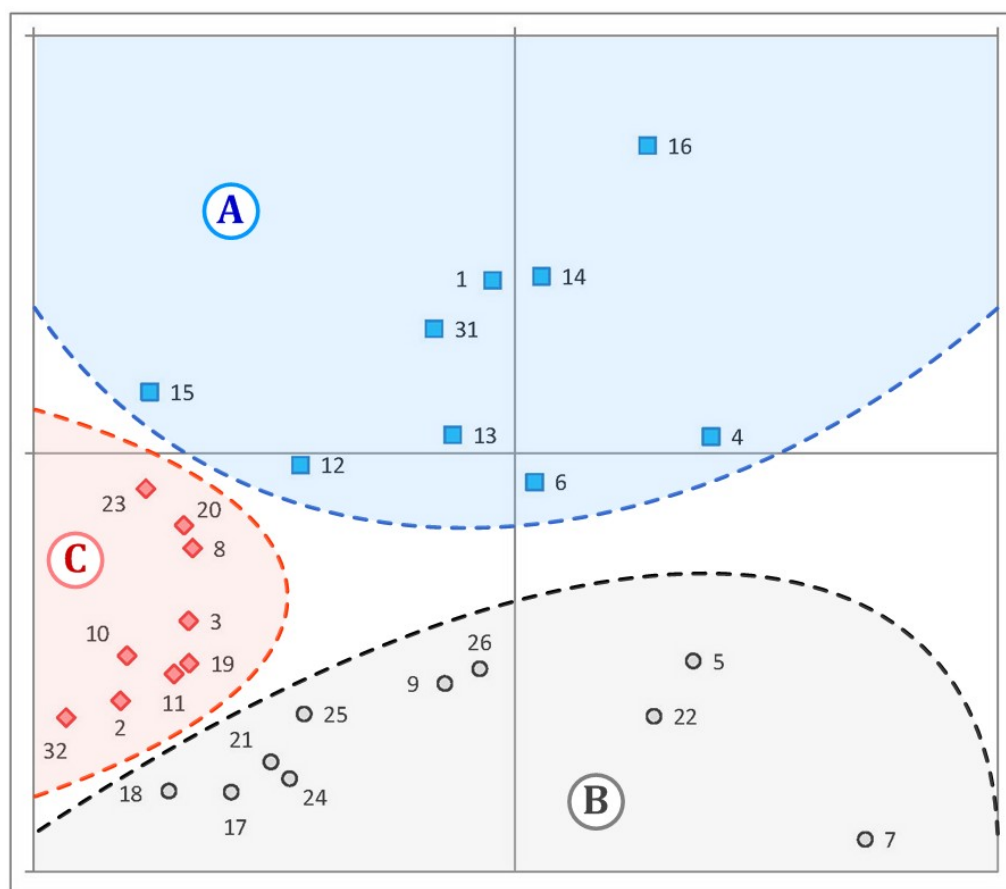


Рис.8. Фазовый портрет распределения видов млекопитающих в пространстве корреляционных расстояний $\{E, X\}$

Отчётливо видно, что все виды, представленные матрицей данных, можно разделить на три когорты. **Когорту А** составляют виды, наиболее чувствительные к изменениям фактора X (ось ординат на Рис.8). К **когорте В** относятся виды, наименее чувствительные к этим изменениям, а к **когорте С** – виды, сочетающие невысокую чувствительность к изменениям фактора X и столь же невысокую – к изменениям фактора E .

В наиболее интересующую нас **когорту А** попадают следующие животные (номера на Рис.8 соответствуют номерам в Табл.1 и Табл.3): Белозубка сибирская *Crocidura sibirica*^[1]; Бурозубка малая *Sorex minutus*^[4]; Бурозубка равнозубая *Sorex isodon*^[6]; Мышовка лесная *Sicista betulina*^[12]; Мышь восточноазиатская *Apodemus peninsulae*^[13]; Мышь желтогорлая *Sylvaemus flavicollis*^[14]; Мышь лесная *Apodemus uralensis*^[15]; Мышь полевая *Apodemus agrarius*^[16]; Грызу-

ны *Rodentia* ^[31]. Закономерно, что характер изменений численности для них оказывается сходным. Во время возрастания значений фактора X (как в текущем году, так и в нескольких предшествующих), как правило, наблюдается прирост численности популяций названных видов млекопитающих (Рис.9).

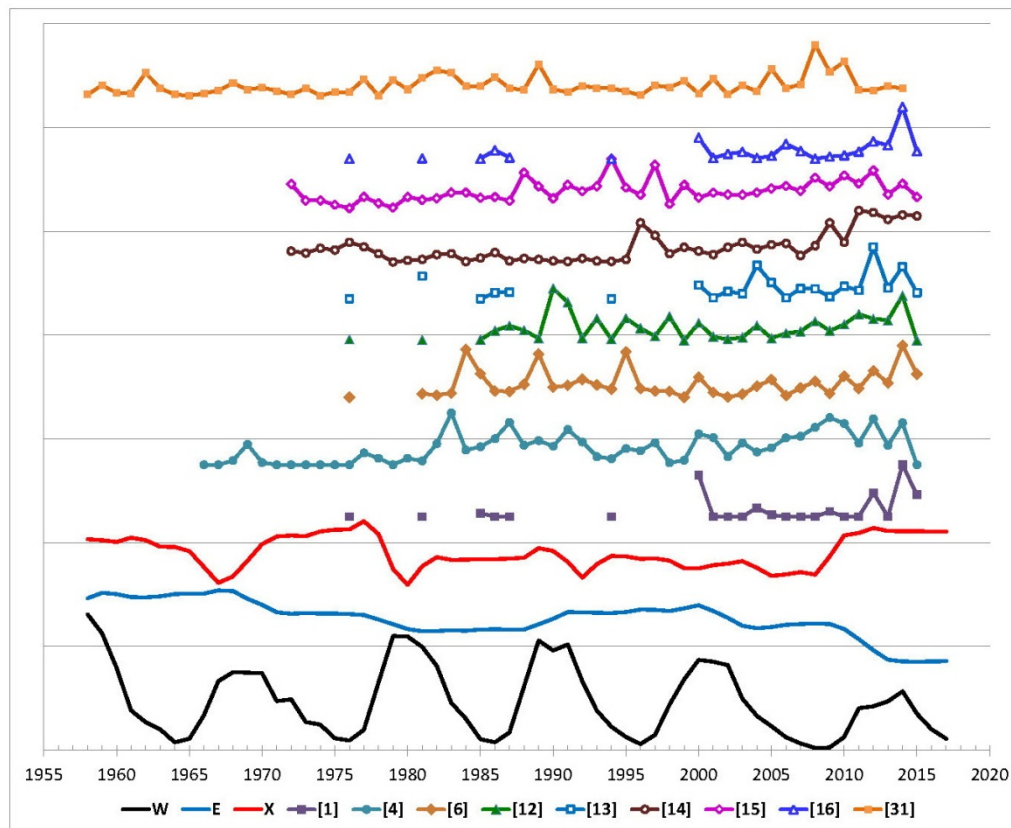


Рис.9. Сходство динамики численности видов когорты А с изменениями фактора X

Фазовые портреты в координатах корреляционных расстояний $\{W, E\}$ и $\{W, X\}$ оказываются не столь показательными (Рис.10).

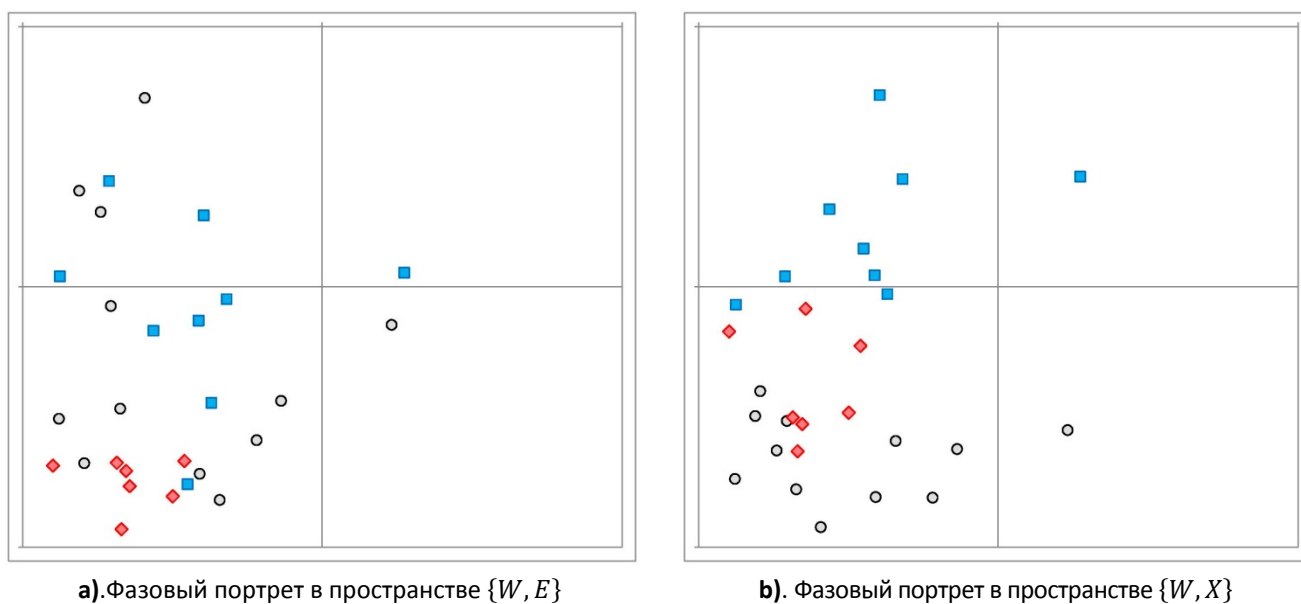


Рис.10. Фазовые портреты распределения видов млекопитающих в пространстве корреляционных расстояний

В состав **когорты В** входят такие виды млекопитающих: Бурозубка обыкновенная *Sorex araneus* ^[5]; Бурозубка средняя *Sorex caecutiens* ^[7]; Крот сибирский *Talpa altaica* ^[9]; Полёвка большеухая, или сибирская горная *Alticola macrotis* ^[17]; Полёвка водяная *Arvicola amphibious* ^[18]; Полёвка красно серая *Clethrionomys rufocanus* ^[21]; Полёвка–экономка *Microtus oeconomus* ^[24]; Соболь *Martes zibellina* ^[25]; Лемминг норвежский *Lemmus lemmus* ^[26].

Наконец, к **когорте С** относятся: Бурозубка бурая, или плоскочерепная *Sorex roboratus* ^[2]; Бурозубка крошечная *Sorex minutissimus* ^[3]; Бурозубка тундрная *Sorex tundrensis* ^[8]; Кутора обыкновенная, или водяная *Neomys fodiens* ^[10]; Лемминг лесной *Myopus schisticolor* ^[11]; Полёвка красная *Clethrionomys rutilus* ^[19]; Полёвка красно–серая *Clethrionomys rufocanus* ^[20]; Полёвка тёмная *Microtus agrestis* ^[23]; Землеройки *Soricidae* ^[32].

Не лишним будет привести здесь краткие биолого–экологические описания отдельных видов, прежде всего – входящих в **когорту А**.

БЕЛОЗУБКА СИБИРСКАЯ *CROCIDURA SIBIRICA* (DUKELSKY, 1930)

Встречается в Сибири, Средней и Центральной Азии: Казахстан, Киргизия, Китай, Монголия, Россия (южная Сибирь). Обитает в разных типах подтаёжных лесов: разнотравных сосново–берёзовых ассоциациях с примесью осины, в увлажненных осиново–берёзовых лесах с примесью ели, в сосново–осиново–берёзовом с примесью ели разнотравно–осоковом лесу, осиново–берёзовом лесу с примесью сосны, в искусственных тополевых лесопосадках с густым кустарниковым подлеском из караганы и спиреи. В пределах этих биотопов сибирская белозубка населяет участки с хорошо развитым травяным покровом. В состав кормового рациона входят пластинчатоусые жуки, личинки жужелиц, горбатки, быстрянки и саранчовые. Размер помёта – до 8 эмбрионов, в первой декаде августа отмечалась повторная беременность. Большую часть отмечаемых в летний период животных составляют сеголетки.

БУРОЗУБКА МАЛАЯ *SOREX MINUTUS* (LINNAEUS, 1766)

Вид распространён преимущественно в Европе. Ареал обитания включает Европейскую часть России, западную и южную Сибирь, Киргизию. Была единственным видом землероек, проникшим в Ирландию. Предпочитает разреженные, хорошо освещенные солнцем участки. Населяет леса, преимущественно лиственные и смешанные, луга. Наибольшая встречаемость наблюдается в приручьевых ельниках и ольшаниках. питается мелкими насекомыми, многоножками, пауками, моллюсками и ежедневно съедает их в 2 раза больше, чем весит сама. Предпочитает мягкие корма, что обусловлено мелкими размерами тела и зубов. Половозрелость наступает в возрасте 7–8 месяцев. Период размножения составляет около 5 месяцев. Начало и окончание размножения малой бурозубки зависит от погодных условий года. В течение теплого периода бывает 1–3 выводка, в каждом от 4 до 12 (чаще 6–8) детенышей.

БУРОЗУБКА РАВНОЗУБАЯ *SOREX ISODON* (TUROV, 1924)

Вид распространён преимущественно в таёжной зоне Евразии от Скандинавского полуострова и Белоруссии до побережья Тихого океана. Селится преимущественно в темнохвойных и смешанных, с высоким разнотравьем лесах, на вырубках с подростом из лиственных пород и высокой густой травой. Продолжительность жизни в природе не превышает полутора лет. Питается гусеницами чешуекрылых, личинками жужелиц и различными насекомыми. Перезимовавшие особи приступают к размножению во второй половине апреля – начале мая. В выводке у самки бывает от 2 до 10 детенышей (в среднем 5–6), достигающих половозрелости на третьем месяце жизни. Репродуктивный период продолжается до сентября. Одна самка способна приносить за сезон 2 (в отдельные годы 3) помета.

МЫШОВКА ЛЕСНАЯ *SICISTA BETULINA* (PALLAS, 1779)

Ареал охватывает лесную и лесостепную зоны Евразии от Центральной и Восточной Европы до Прибайкалья. Отдельные очаги обитания есть в Норвегии, Швеции и Дании. В России обитает почти по всей Европейской части России, на Урале и в Западной Сибири (за исключением северных

областей), на юго–западе Восточной Сибири до Ангары и Селенги. Встречается в хвойных, лиственных и смешанных лесах, выбирая осветлённые участки с богатым подлеском. В лесостепи поселяется в берёзовых колках, зарослях кустарников, заросших балках. Встречается на пахотных землях вблизи от леса и в полезащитных лесополосах. На Алтае поднимается до предгорных берёзовых редколесий на высоте около 2000 м над уровнем моря. Селится в лесопарках. Питается в основном муравьями, их личинками, а также личинками древесных жуков. В рацион входит и растительная пища (семена древесных пород, ягоды). Размножается один раз в год, в конце мая – начале июня. Беременность длится до 30 дней; в выводке 2–8 детёнышей.

Мышь восточноазиатская *APODEMUS PENINSULAE* (THOMAS, 1907)

Ареал обитания – Центральная и Южная Сибирь, Якутия; к югу до Алтая и Саян, Прибайкалья, Приамурья и Приморья, встречается на Сахалине; по побережью Охотского моря; в область распространения вида входят Северная Монголия, Китай (кроме южных и западных районов), Корея, северные Японские острова, Северная Индия. Населяет лесную и лесостепную зоны и соответствующие им горные пояса. Избегает темнохвойной, еловой и елово–кедровой тайги, а также чистых моховых кедровников. Достигает высокой численности в смешанных лесах, в том числе пойменных и островных, дубово–лиственничных и березово–осиновых, в травяных молодняках и кустарниковых зарослях. Не избегает лиственничников и остепнённых сосняков; в горах поднимается до верхней границы леса, а в годы высокой численности встречается и на альпийских лугах. В пище во все времена года преобладают семена древесных пород, ягодных кустарников, полукустарников и разнотравья. Постоянно отмечается присутствие животной пищи. Число помётов в году, количество молодых в выводке, а также степень участия в размножении молодых первого помёта существенно меняются с широтой местности, высотой над уровнем моря, а также зависят от состояния популяции. Начало размножения совпадает со сроками снеготаяния, окончание – с прекращением вегетации и наступлением устойчивых холодов. Взрослые самки могут дать до 3 (обычно 1–2) помётов, по 5–6 (на севере меньше) детёнышей в каждом.

Мышь желтогорлая *SYLVAEMUS FLAVICOLLIS* (MELCHIOR, 1834)

Распространение – от западных границ быв. СССР на север до Балтийского побережья, Карельского перешейка, южных частей Карелии, Новгородской, севера Тверской областей, Удмуртии, Башкирии, юго–восточного Заволжья и юго–западных склонов Уральского хребта (Шайтан–тау). На юге до Запорожья, нижнего Днепра, Волгограда, Саратова, где переходит на левый берег Волги. Горный Крым, черноморское побережье Кавказа и западная часть Главного Кавказского хребта, восточное Предкавказье, включая низовья рек Сулак и Терек. Большая часть Восточной и Центральной Европы от северо–западных частей Пиренейского полуострова, Западной Франции, южных частей Англии и Скандинавского полуострова; Малая, частью Передняя, Азия (Палестина). Наиболее высокой численности достигает в широколиственных лесах, особенно в высокоствольных дубравах, на востоке Восточно–Европейской равнины граница распространения хорошо совпадает с границей сибирского таежного «языка» с пихтой, лиственницей и кедром. Пищу составляют семена деревьев (буковые орешки, желуди, орехи лещины, семена липы, клёна) и некоторых кустарников (бересклета, шиповника), а также всходы и листья травянистых растений. Число выводков у перезимовавших особей – до 3, у молодых первого помёта – 1, реже 2; у взрослых особей средняя величина каждого по 5–6 детёнышей, в благоприятные годы – по 6–8. Отмечаются 2 пика размножения: весенний и осенний.

Мышь лесная *APODEMUS URALENSIS* (PALLAS, 1811)

Обитает, в основном, в широколиственных и смешанных лесах Восточной Европы, в Турции, на Кавказе, на Северо–Востоке Казахстана, на Алтае и в северном Синцзяне. Предпочитает открытые участки леса. Кроме лесов живёт в степных и альпийских биотопах, на каменистых россыпях, а также в агроценозах. На Памире встречается до высоты 3500 м. Предпочитает открытые участки леса, кроме лесов живут в степных и альпийских биотопах, на каменистых россыпях. Питается как растительной (семена, зелёные части растений), так и животной (насекомые) пищей. Размножение происходит в течение тёплого сезона. За период размножения самки приносят 2–4 помёта, в каждом из которых по 5–7 детёнышей. Продолжительность жизни до полутора лет.

МЫШЬ ПОЛЕВАЯ *APODEMUS AGRARIUS* (PALLAS, 1771)

Распространена на территории Центральной и Восточной Европы, на юге Западной Сибири, в Китае (кроме южных частей), в Монголии, в Приморье, на Корейском полуострове и на Тайване. В России – от западных границ до центрального Алтая; на севере ареал граничит с Ленинградской областью, на юге – с предгорьями Северного Кавказа; обитает на черноморском побережье Кавказа, на Южном и Среднем Урале, на Северо-Востоке Казахстана, в Южной Сибири до Иркутска. Предпочитает открытые биотопы – кустарниковые заросли и луга, населяет антропогенные ландшафты и агроценозы; по долинам рек проникает в степную зону. Питается плодами, семенами, листьями, стеблями, ягодами, корнями различных растений. Семенной корм преобладает, но зеленых кормов поедает больше, чем другие виды; насекомые составляют значительную часть рациона. Половая зрелость самок наступает в трехмесячном возрасте, у самцов немногим позднее. Беременность продолжается 22 дня. Количество детенышей в помете 3–8. За вегетационный период, в зависимости от района местообитания, могут давать от 3 до 5 приплодов. Размножение наблюдается только в теплое время года.

Для всех названных видов характерны: невысокая продолжительность жизни, быстрое достижение половой зрелости и готовности к размножению, частые беременности, многочисленность приплода, отсутствие каких-либо пищевых ограничений и повсеместная доступность привычной пищи. Многие виды делают запасы, и тем самым обеспечивают круглогодичный доступ к пище, что способствует выживанию и родителей, и потомства. Иными словами, склонность этих видов к циклическим колебаниям численности обуславливается, скорее всего, не локальными лимитирующими факторами, а проявлением специфической реакции на внешние (глобальные) факторы. Не следует сбрасывать со счетов и особенности генетической конституции подобных видов.

С.Пегельман²³ заметил, что «в период максимальной численности в популяции происходит наибольшее падение жизненности. Благодаря пониженной жизненности такая популяция характеризуется неустойчивым состоянием и особи, ее составляющие, обладают очень слабой сопротивляемостью различным неблагоприятным воздействиям внешних факторов». Под «внешними факторами» здесь понимаются ухудшающиеся климатические условия (необычно холодные зимы и проч.) Такой подход объясняет, почему численность популяции, достигнув пика, внезапно резко сокращается. Однако вопрос о том, что же, собственно, инициирует этот пик численности – остаётся открытым.

Однако попытки увязать колебания численности мелких млекопитающих непосредственно со среднегодовыми числами Вольфа^{24,25} выглядят неубедительно. По всей видимости, подобным исследованиям не хватает глубины понимания биологических закономерностей, обуславливающих чувствительность животных к колебаниям показателей солнечной активности, и анализ корреляционных связей заменяется «анализом спектров колебаний».

²³ Пегельман С. «О некоторых вероятных причинах колебаний численности грызунов» – Известия Академии наук Эстонской ССР, серия биологическая. – том XI, 1962, №2, с. 131–142

²⁴ Антонец Н.В., Балалаев А.К., Шумкова М.С. «Прогнозирование численности мелких млекопитающих и солнечная активность» – Экосистемы, их оптимизация и охрана. – Симферополь: изд-во Таврического Государственного Университета, 2013, выпуск 8, с. 106–113

²⁵ Березовская Г.Б., Коробейникова А.С., Хайсарова А.Н. «Некоторые аспекты многолетней динамики численности фоновых видов грызунов и изменения солнечной активности на примере лесокустарниковых биотопов Ульяновской области» – Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки, 2016, № 3 (15), с. 14–24

Нам представляется гораздо более продуктивным рассмотреть влияние флуктуаций геомагнитного поля (в свою очередь, вызванных влиянием гелиомагнитных полей, в том числе – низкой и сверхнизкой частоты). Поскольку всякое проявление пары солнечных пятен на поверхности фотосферы сопровождается частичным выходом за пределы фотосферы своеобразной «магнитной ловушки», заполненной высокоэнергетичной плазмой, электромагнитное излучение такой «ловушки» является дополнением к обычному потоку солнечного излучения. Гигантские масштабы подобных тороидальных «ловушек» обуславливают широкий диапазон излучаемых электромагнитных волн, от сверхвысокочастотных до сверхнизкочастотных. Ионосфера Земли, хорошо отражая высоко– и сверхвысокочастотные волны, оказывается совершенно прозрачной для сверхнизкочастотных. Магнитная составляющая таких волн, взаимодействуя с геомагнитным полем Земли, вызывает его флуктуации; при этом даже относительно небольшие колебания магнитной индукции способны оказать существенное влияние на живое вещество.

С.М.Шугрин и А.М.Обут ещё в 1986 году сообщали²⁶: «Многими исследователями было доказано, что биосистемы очень чувствительны к слабым электромагнитным полям, так как последние могут быть для них информативны ... Слабые электромагнитные поля влияют на нервную систему и многие процессы в организме^{27,28}. С эффектом слабых геомагнитных полей, по крайней мере в некоторых случаях, связана временная организация жизненных процессов («биологические часы» и пр.) и пространственная ориентация организмов²⁹. Обнаружена корреляция между динамикой геомагнитного поля и процессами акселерации и ретардации (замедленного развития), а также изменениями некоторых морфологических особенностей черепа³⁰».

В ходе масштабных экспериментов по выявлению эффектов влияния магнитных полей сверхнизкой частоты на подопытных крыс, на фоне отсутствия каких-либо изменений в морфологии и гистологии было установлено, что такие поля ощутимо влияют на поведение животных, в частности – на внутригрупповую агрессивность, заметно возрастающую при воздействии переменного магнитного поля³¹.

Геомагнитные флуктуации могут привести к развитию в организме изменений, которые, несмотря на защитно–приспособительный характер, в случае продолжающегося гелиофизического воздействия в малых дозах могут стать базой для формирования широкого спектра патологических процессов. Наибольшему воздействию подвержены сердечно–сосудистая и нервная системы³². В мире животных отчетливо проявляется влияние флуктуаций геомагнитного поля. Известно, что с такими флуктуациями хорошо коррелируют: изменение двигательной активности животных, на-

²⁶ Шугрин С.М., Обут А.М. «Солнечная активность и биосфера» – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1986, с. 1-128

²⁷ Пресман А.С. «Электромагнитные поля и живая природа» – М.: Наука, 1968. – с. 1–288

²⁸ Холодов Ю.А., Шишло М.А. «Электромагнитные поля в нейрофизиологии» – М.: Наука, 1979. – с. 1–168

²⁹ Дубров А.И. «Геомагнитное поле и жизнь» – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – с. 1–176

³⁰ Василик П.В. «Геомагнитная гипотеза акселерации и некоторые эволюционные процессы» – в кн.: Космос и эволюция организмов. – М., 1974 – с. 115–132

³¹ ELF and VLF Electromagnetic Fields Effects / Michael A. Persinger (Editor). – Plenum Press, New York – London, 1974, 1–162

³² Шпак А.А., Новиков В.А. «Исследования влияния электромагнитных полей и электромагнитных излучений на биообъекты» – Биомедицинская инженерия и электроника, 2017, №4 (18), с. 7–7

рушение ориентировки в пространстве и времени, интенсивность размножения³³. Анализ результатов исследований, выполненных в разное время и в различных регионах земного шара, показал, что, по мере усложнения организации биосистем, уменьшается степень специфичности их реакций на магнитное поле и, соответственно, увеличивается феномен неспецифических реакций. Это отчетливо видно при переходе от клеточного уровня к более высокому (тканевому, системному, организменному). Вероятно, одной из причин является переход от энергетического класса взаимодействий к информационному³⁴. Однако, несмотря на изменение характера взаимодействия, принципиально доказано возникновение реакций физиологических систем, целостного организма на магнитное поле³⁵.

Влияние электромагнитных полей сверхнизкой (до 400 Hz) частоты на биологические системы отмечалось³⁶ ещё в начале 1990-х годов. Было показано, что геомагнитные поля с весьма низкой напряжённостью (20–70 μT ³⁷) могут вызывать ощутимые биологические последствия. В частности, выдвигалась гипотеза о влиянии слабых электромагнитных полей сверхнизкой частоты на повышение оттока ионов Ca^{2+} от мембран клеток головного мозга³⁸.

В.В.Крылов³⁹ приводит множество примеров влияния геомагнитной активности (в частности, магнитных бурь, вызванных резким притоком электромагнитного излучения Солнца в магнитосферу Земли) на показатели здоровья и биологической активности растений, животных и человека. В частности, анализируя участие мелатонина в биологических эффектах геомагнитной активности, он отмечает, что уровень выработки организмом мелатонина существенно зависит от изменений естественного магнитного фона⁴⁰.

Если учесть, что мелатонин самым существенным образом регулирует переход от дневной активности животных к ночной, любые отклонения от его естественного уровня в организме чреваты изменениями поведения, например – той же репродуктивной активности.

В ряде работ^{41,42,43} сообщается, что на биологические объекты может повлиять даже поле с частотой 1 Hz и амплитудой 64 pT ($6,4 \cdot 10^{-11}$ T).

³³ Сидякин В.Г. «Влияние флуктуаций солнечной активности на биологические системы» – Биофизика, 1992, том 37, № 4, с. 647–652

³⁴ Пресман А.С. «Электромагнитные поля и процессы регулирования в биологии» – М.: Советское радио, 1978, с. 1–210

³⁵ Агаджанян Н. А., Макарова И. И. «Магнитное поле Земли и организм человека» – Экология человека, 2005, №9, с. 3–9

³⁶ Beardwood C.J. «Biological effects of static and extremely low-frequency magnetic fields: mechanisms of interaction» – South African Journal of Science, Vol. 87, 11; December 1991, 551–554

³⁷ 1 μT (мкТл) = $1 \cdot 10^{-6}$ T (Тл). 1 T (Тесла) определяется как индукция такого магнитного поля, в котором на проводник длиной 1 метр, расположенный по нормали к силовым линиям поля, с током 1 ампер действует сила 1 ньютон. Для сравнения – индукция магнитного поля Земли на полюсах составляет $7 \cdot 10^{-5}$ T, а на экваторе – $3 \cdot 10^{-5}$ T.

³⁸ Blackman C.F., Beame S.G., Rabinowitz JR., House D.E. and Joines W.T. «A role for the magnetic field in the radiation-induced efflux of calcium ions from brain tissue *in vitro*» – Bioelectromagnetics, 1985, No.6, 327–337

³⁹ Крылов В.В. «Биологические эффекты геомагнитной активности: наблюдения, эксперименты и возможные механизмы» – Труды ИБВВ РАН, выпуск 84(87), 2018, с. 7–38

⁴⁰ Welker H.A., Semm P., Willig R.P., Commentz J.C., Wiltshko W., Vollrath L. «Effects of an artificial magnetic-field on serotonin-n-acetyltransferase activity and melatonin content of the rat pineal gland» – Exp. Brain Res. 1983. Vol. 50, 426–432

⁴¹ Леднёв В.В. «Биологические эффекты крайне слабых переменных магнитных полей: идентификация первичных мишеней» – Моделирование геофизических процессов. М.: ИФЗ РАН, 2003., с. 130–136

В качестве финальной оценки приведём классические коэффициенты корреляции (по Пирсону), оценок динамики численности животных перечисленных видов, с показателями солнечной активности (**Табл.4**):

Табл.4. Корреляции динамики численности видов, входящих в **когорту А**, с показателями солнечной активности текущего года

Вид	R _W	R _E	R _X
Бурозубка малая <i>Sorex minutus</i>	–0,227 (0,218)	–0,098 (0,227)	0,016 (0,229)
Бурозубка равнозубая <i>Sorex isodon</i>	0,046 (0,229)	–0,599 (0,147)	0,404 (0,192)
Мышовка лесная <i>Sicista betulina</i>	0,030 (0,229)	–0,492 (0,174)	0,401 (0,193)
Мышь желтогорлая <i>Sylvaemus flavicollis</i>	0,001 (0,229)	–0,733 (0,106)	0,721 (0,110)
Мышь лесная <i>Apodemus uralensis</i>	–0,205 (0,220)	–0,067 (0,228)	0,107 (0,227)
Мышь полевая <i>Apodemus agrarius</i>	0,251 (0,215)	–0,497 (0,173)	0,341 (0,203)

Выделены статистически значимые величины, в скобках указаны значения ошибки соответствующего коэффициента корреляции m_r , с учётом поправки Бонетта⁴⁴ (6).

$$m_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n - 3}} \quad (6)$$

Проводя классификацию видов с разделением их на когорты, мы использовали временные ряды, содержащие «пропуски» в данных. Теперь же необходимо оценить подлинную степень связи динамики численности с показателями солнечной активности, по той же методике, но без упомянутых «пропусков». Для окончательного расчёта выберем показатели солнечной активности W, E, X, и «очищенные» временные ряды по следующим видам: Бурозубка малая *Sorex minutus*^[4]; Бурозубка равнозубая *Sorex isodon*^[6]; Мышовка лесная *Sicista betulina*^[12]; Мышь желтогорлая *Sylvaemus flavicollis*^[14]; Мышь лесная *Apodemus uralensis*^[15]; Мышь полевая *Apodemus agrarius*^[16]. Исходя из представлений о средней продолжительности наблюдаемого цикла солнечной активности, определим лаг 11 лет (текущий и 10 предшествующих лет).

Не правда ли, что коррелограммы **b**, **c**, **d** и **f** демонстрируют очевидное сходство? Это означает, что данные виды (Бурозубка равнозубая, Мышовка лесная, Мышь желтогорлая и Мышь полевая) вполне могут выступать как живые детекторы солнечной активности, объективно реаги-

⁴² Леднёв В.В., Белова Н.А., Рождественская З.Е., Тирас Х.П. «Биоэффекты слабых переменных магнитных полей и биологические предвестники землетрясений» – Геофизические процессы и биосфера. 2003. том 2, № 1, с. 3–11

⁴³ Belova N.A., Ermakov A.M., Znobishcheva A.V., Serebnitskaia L.K., Lednev V.V. «The influence of extremely weak alternating magnetic fields on the regeneration of planarians and the gravitropic response of plants» – Biophysics. 2010. Vol. 55. № 4, 623–627

⁴⁴ Bonett, D.G. «Meta-analytic interval estimation for bivariate correlations» – *Psychological Methods*, 2008, 13(3), 173–181.

рующие на изменения фактора *X*. Взаимозависимость с фактором *E* вполне объясняется тем, что оба фактора характеризуют флуктуации потоков солнечной энергии, достигающие Земли. Однако между названными видами есть и некоторые различия. Так, Мышь желтогорлая реагирует на изменения факторов солнечной активности сразу, в тот же год, когда эти изменения происходят. В отличие от неё, реакция Бурозубки равнозубой и Мыши полевой оказывается как бы «отложенной», и ярче проявляется в ответ на изменения фактора в предшествующих 1-2 годах. По всей видимости, эти различия связаны с темпами размножения: Бурозубке равнозубой и Мыши полевой требуется дополнительное время, чтобы «накопить» необходимую критическую численность популяции.

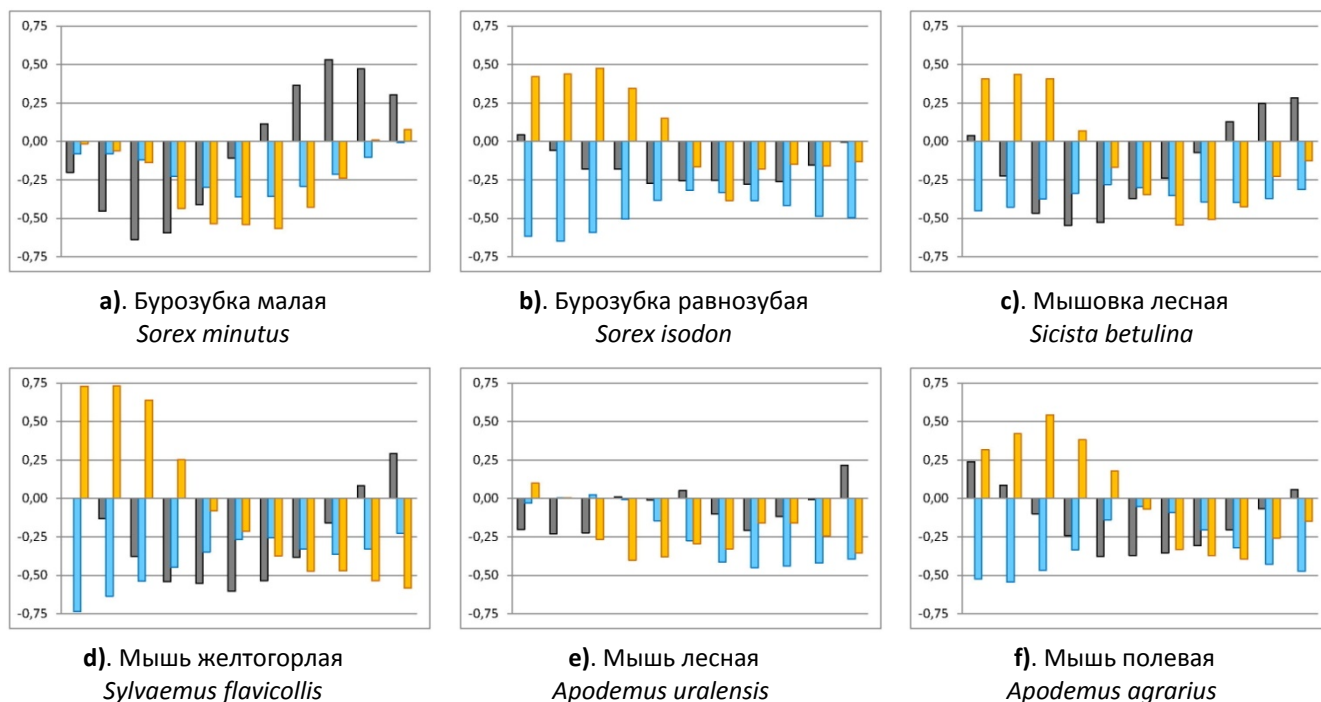


Рис.11. Коррелограммы для видов млекопитающих, входящих в **когорту А** (связь с показателями *W*, *E*, *X* в зависимости от лага лет, от 0 до 10)

Различие коррелограмм **a** и **b** говорит о том, что, возможно, виды Бурозубка малая *S. minutus* и Бурозубка равнозубая *S. isodon*, относясь к одному и тому же роду, обладают различными аллелями гена, определяющего направление реакции на флуктуации геомагнитного поля. Иными словами, на указанном материале можно проводить и изучение наследования признака (признаков) магнитоэзависимости.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, выяснена природа фактора *X*, оказывающего влияние на организмы млекопитающих **когорты А** (в первую очередь). Теперь понятно, что это – энергетическое воздействие Солнца, выражающееся во флуктуациях переменных магнитных полей сверхнизкой частоты. Свободное проникновение этого излучения до поверхности планеты и вглубь её способствует эффективности этой формы воздействия на геомагнитное поле, а через него – на биосферу. Однако из всех возможных жизненных форм земных организмов наиболее чувствительными оказываются мелкие животные, обладающие сложным поведением (как правило, млекопитающие с их развитой нервной системой). Дополнительным, усиливающим эффект свойством является их способность к быстрому многоплодному размножению, не ограничиваемому климатиче-

скими факторами или пищевыми лимитами. В результате они уверенно демонстрируют зависимость динамики численности именно от выявленного нами *фактора X*, который следует определить как *ELF–EMR (Extra–Low Frequency Electromagnetic Radiation = сверхнизкочастотное электромагнитное излучение)*, ЭМИ–СНЧ.

Предложенная нами методика классификации видов мелких млекопитающих по их чувствительности к действию факторов солнечного излучения и состоянию естественной среды обитания может быть применена к существенно большему числу видов; крайне желательно наличие наблюдений численности популяций хотя бы на протяжении четырёх–пяти солнечных циклов. Полагаем, что дальнейшие исследования в области генетики и физиологии позволят существенно расширить наши представления о характере и механизмах солнечно–земных связей.